

Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra automatizační techniky a řízení

## **Využití jednočipových počítačů pro logické řízení**

*Usage of Single-Chip Controller for Logical Control*

Vypracoval:

Matěj Pavera

Vedoucí bakalářského projektu:

doc. Ing. Jaromír Škuta, Ph.D.

Ostrava 2018

## Zadání bakalářské práce

Student:

**Matěj Pavera**

Studijní program:

B2341 Strojírenství

Studijní obor:

3902R001 Aplikovaná informatika a řízení

Téma:

Využití jednočipových počítačů pro logické řízení  
Usage of Single-Chip Controller for Logical Control

Jazyk vypracování:

čeština

Zásady pro vypracování:

1. Seznamte se s jednočipovými počítači určenými pro řízení logických úloh.
2. Navrhněte reálnou logickou úlohu umožňující využití jednočipových počítačů.
3. Realizujte navrženou úlohu v podmínkách laboratoří katedry.
4. Zhodnoťte dosažené výsledky a navrhněte směr dalšího řešení.

Seznam doporučené odborné literatury:


PINKER, Jiří, 2004. *Mikroprocesory a mikropočítače*. Praha: BEN - technická literatura. ISBN 80-7300-110-1.  
ŠULC, Bohumil a Miluše VÍTEČKOVÁ, 2004. *Teorie a praxe návrhu regulačních obvodů*. Praha: Vydavatelství ČVUT. ISBN 80-01-03007-5.  
TŮMA, Jiří, Radim TŮMA, Renata WAGNEROVÁ a Lenka LANDRYOVÁ, 2008. *Základy automatizace* [online].  
1. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava [cit. 2017-11-29]. ISBN 978-80-248-1523-7.  
Dostupné z: [http://www.eleam.vsb.cz/archived/FS/Zaut/Skripta\\_text.pdf](http://www.eleam.vsb.cz/archived/FS/Zaut/Skripta_text.pdf)  
VLACH, Jaroslav, 1999. *Řízení a vizualizace technologických procesů*. Praha: BEN - technická literatura. ISBN 80-86056-66-x.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Jaromír Škuta, Ph.D.**

Datum zadání: 08.12.2017

Datum odevzdání: 21.05.2018



doc. Ing. Renata Wagnerová, Ph.D.  
vedoucí katedry



doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.  
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě dne 21. května 2018

.....  .

Podpis studenta

Prohlašuji, že

- byl jsem seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména §35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a §60 – školní dílo,
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§35 odst. 3),
- souhlasím s tím, že jeden výtisk diplomové práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o diplomové práci, obsažené v Záznamu o závěrečné práci, umístěném v příloze mé diplomové práce, budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO,
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona,
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše),
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě dne 21. května 2018

..... 

Podpis autora práce

Jméno a příjmení autora práce:

Matěj Pavera

Adresa trvalého pobytu autora práce:

1. máje 615, Koberice 747 27

## Poděkování

Rád bych poděkoval svému vedoucímu panu doc. Ing. Jaromíru Škutovi, Ph.D. za jeho připomínky, rady a ochotu při vedení této bakalářské práce.

## Anotace

PAVERA, M. Využití jednočipových počítačů pro logické řízení. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra automatizační techniky a řízení, 2018, 40 s. Bakalářská práce, vedoucí: doc. Ing. Jaromír Škuta, Ph.D.

Tento projekt se zabývá návrhem automatizační jednotky pro medomet, což je stroj určený k extrakci medu z včelích pláství. Cílem je ovládat stejnosměrný motor a zpracovávat informace ze snímačů jako je IRC snímač otáček a ultrazvukový měřič vzdálenosti. Jednotka je postavena na otevřené platformě Arduino. Program je vyvíjen v programovacím prostředí Arduino IDE, které je určeno primárně pro tuto platformu. Výkonovou část tvoří H-můstek. Pro přehledné uživatelské rozhraní je použit LCD displej a maticová klávesnice. Za účelem názornosti a testování byl vytvořen model celého zařízení.

Klíčová slova: automatizace, Arduino, regulace, včelaření

## Annotation

PAVERA, M. Usage of Single-Chip Controller for Logical Control. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Control Systems and Instrumentation, 2018, 40 p. Bachelor thesis, thesis head: doc. Ing. Jaromír Škuta, Ph.D.

This bachelor thesis describes the design of automation unit for honey extractor machine. The target system uses the DC engine and processes data from the sensors such as the IRC speed sensor and the ultrasonic distance meter. The unit is built on Arduino platform. The program is developed in the Arduino IDE programming environment. The power part consist of the H-bridge. For friendly user interface are used LCD display and matrix keypad.

Key words: automation, Arduino, regulation, beekeeping

## Obsah

Seznam použitých zkratk.....	8
Úvod.....	9
1 Seznámení s modulem Arduino .....	10
1.1 Arduino Mega 2560.....	10
1.2 Arduino Nano .....	11
1.3 Možnosti programování modulu Arduino .....	11
2 Jednoduché programy pro test modulu .....	13
2.1 Blikání LED diody.....	13
2.2 Čtení z maticové klávesnice .....	13
2.3 Test LCD shieldu.....	15
3 Popis řízeného systému a technologie extrakce medu.....	16
3.1 Vznik medu.....	16
3.2 Sběr medu .....	18
3.3 Stroj k extrakci medu.....	19
3.4 Základní druhy medometu.....	19
3.5 Použitý medomet .....	20
3.6 Postup extrakce medu v použitém medometu .....	21
3.7 Řešení automatického cyklu.....	23
4 Reálný model systému .....	25
4.1 Grafický LCD displej .....	26
4.2 Snímač otáček.....	27
4.3 Snímač výšky hladiny.....	29
4.4 H-můstek .....	30
4.5 Klávesnice .....	31
4.6 Motor .....	32
4.7 Komunikace mezi deskami.....	33
5 Uživatelské prostředí .....	34
6 Závěr .....	37
Použitá literatura .....	39

## Seznam použitých zkratk

C / C++ – programovací jazyk

EEPROM – statická energeticky nezávislá paměť

FLASH – nevolatilní elektricky programovatelná paměť

ICSP – In-Circuit Serial Programming, protokol pro sériové programování mikrokontrolérů

IDE – Integrated Development Environment, vývojové prostředí

LCD – Liquid Crystal Display, displej z tekutých krystalů

LED – Light Emitting Diode, dioda emitující světlo

PC – Personal Computer, osobní počítač

PWM – Pulse Width Modulation, pulzně šířková modulace

TTL – Transistor-Transistor-Logic, standardizovaná logika

UART – Universal Asynchronous Receiver/Transmitter, asynchronní sériové rozhraní

USB – Universal Serial Bus, univerzální sériová sběrnice

PID – regulátor Proporcionální Integrační Derivační

I<sup>2</sup>C – Inter Integrated Circuit, počítačová sériová sběrnice

TWI – Two Wire Interface, počítačová sériová sběrnice

SDA – Synchronous Data

SCL – Synchronous Clock

SD – Secure Digital, paměťová karta

DPS – deska plošných spojů

FAT16 – souborový systém



## Úvod

Automatizace hraje v dnešní době významnou roli v jakémkoli odvětví průmyslu, její popularita a využití stále značně graduje. Dokáže výrazně ulehčit nebo dokonce zcela nahradit jak fyzickou, tak psychickou práci člověka.

Velikou výhodou je celkové rozšíření dostupnosti komponent pro tvorbu automatizačních aplikací. Na trhu jsou k dostání různé verze vývojových platform. Můžeme si vybrat z několika typů jednočipových počítačů. Rozlišují se velikostí paměti, počtem pinů, výkonem. Velice populární jsou jednočipové počítače osazené na desce plošných spojů disponujícím podpůrným hardwarem, takže je můžeme napájet větším rozsahem napětí, nebo je jednoduše připojit k počítači přes USB pro jednoduchou komunikaci. Staly se tak velice kompaktními s širokým spektrem použití. Důležitá je taky dostupnost vstupních a výstupních periférií, například senzory teploty, měřiče vzdálenosti, otáček, snímače ovzduší, vlhkosti, aj.

Velmi oblíbená je platforma Arduino. Na internetu existuje také obrovská komunita příznivců této platformy a můžeme tam tedy načerpat hodně informací ohledně programování a také se toho mnoho naučit. Při takovýchto možnostech lze vyvíjet aplikace v domácím prostředí a využít je k ulehčení pracovních úkonů jako je tomu například u včelaření, kdy je potřeba manuálně zpracovat produkt – včelí med.

Při výkonu práce včelaře lze považovat získávání medu jako zábavnou část včelaření. Ovšem při nadměrném počtu včelích úlů se tato činnost stává čím dál náročnější a vyčerpávající. Při získávání medu se používá stroj zvaný „medomet“. Jeho konstrukce je provedena několika způsoby, ale z principu se jedná vždy o stroj s rotačním bubnem, který byl v minulosti poháněn ručně pomocí kliky, která přes převodový mechanismus roztáčela buben kolem své osy. Dnes se nejvíce používá medomet s elektrickým pohonem, který značně ulehčí fyzickou námahu. Přesto se však musí včelař během procesu soustředit jak na stroj, tak na samotnou přípravu pro další opakující se cyklus extrakce medu.

Cílem tohoto projektu je navrhnout automatizaci elektrického pohonu, který ulehčí obsluhu medometu a sníží potřebný zásah člověka na minimum.

## 1 Seznámení s modulem Arduino

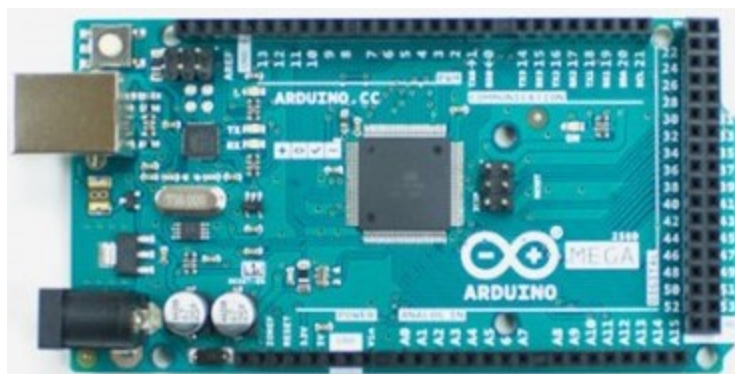
Arduino je označení pro otevřenou elektronickou vývojovou platformu. Vývojové moduly lze sehnat v několika variantách. Najdeme také varianty s označením Genuino, které jsou určeny pro prodej mimo USA, jedná se přitom o stejný produkt jen s jiným označením. Společné mají to, že jsou osazeny jednočipovými počítači značky ATMEL. Modul vybíráme podle celkové náročnosti celého systému, požadované paměti a počtu hardwarových pinů. Velikou výhodou je nízká pořizovací cena, vlastní kompilační software, který využívá instrukcí jazyka C / C++. V neposlední řadě je nutno také zmínit jednoduchost připojení k PC pomocí jediného USB kabelu. Ten vytvoří v PC virtuální komunikační sériový port, pomocí něhož probíhá komunikace s mikroprocesorem. [Arduino.cc, 2018]

Pro realizaci automatizační jednotky je zvolena vývojová deska s označením Arduino Mega 2560. Tato deska má dostatečný počet pinů pro připojení několika periférií, senzorů a hlavně lze na tuto desku připojit LCD displej, který je s deskou rozměrově skoro totožný.

Jelikož během realizace modelu nastaly problémy s regulací a interními časovači, rozhodl jsem se použít ještě jednu miniaturní desku Arduino Nano. Tato deska funguje čistě jako regulátor. A funguje jako prostředník mezi Mega2560 a H-můstkem.

### 1.1 Arduino Mega 2560

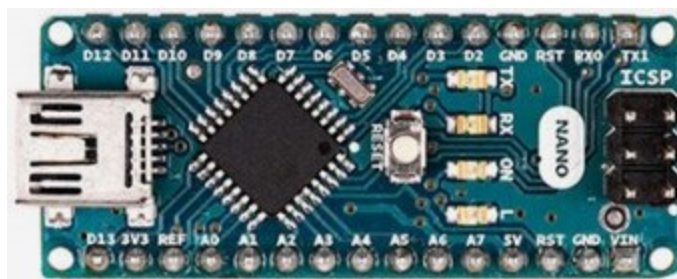
Vývojová deska Arduino Mega 2560 (obr. 1) je osazena osmibitovým mikroprocesorem Atmel ATmega 2560 pracující na frekvenci 16 MHz. Uvnitř mikroprocesoru se nachází 256 kB programové paměti FLASH a 4096 bajtů paměti EEPROM. Využít lze 54 vstupně-výstupních pinů, z toho 15 pinů můžeme použít jako PWM výstupy. Dále zde máme 16 analogových vstupů a 4 hardwarové sériové porty. USB konektor na pravé straně je připojen na USB/UART převodník, který zajišťuje komunikaci mikroprocesoru pomocí továrně nahraného bootloaderu s PC. V případě nedostatku paměti můžeme bootloader odstranit a získat tak několik desítek bajtů pro program. Po odstranění už nebude možné používat USB konektor, ale ICSP konektor a speciální programátor pro nahrání programu do mikroprocesoru. Vzhledem k tomu, že 256 kB je pro náš program více než dostačující, tak si možnost připojení USB kabelem ponecháme. [Arduino.cc, 2018]



Obr. 1 - Pohled na modul Arduino Mega 2560 [Arduino.cc, 2018]

## 1.2 Arduino Nano

Arduino Nano (obr. 2) je velice malá vývojová deska. Hardwarově stejně vybavená jako její větší verze Arduino UNO a Duemilanove. Je osazena mikroprocesorem Atmel Atmega328 pracující taktéž na frekvenci 16 MHz. Disponuje 32kB FLASH a 1kB EEPROM. Podobně jako ostatní desky obsahuje USB port umožňující naprogramování přes PC sériový port. [Arduino.cc, 2018]



Obr. 2 Vývojová deska Arduino Nano [Arduino.cc, 2018]

## 1.3 Možnosti programování modulu Arduino

Arduino je nastaveno tak, aby dokázalo komunikovat s osobním počítačem pomocí USB kabelu. Mezi mikroprocesor a osobní počítač je ještě zařazen pomocný obvod, který vytvoří v počítači virtuální sériovou linku. S využitím drobných externích součástek vytváří také UART – TTL převodník. Aby taková komunikace fungovala korektně, má hlavní mikroprocesor zavedený vlastní bootloader, ten po připojení USB kabelu k počítači a po založení virtuální sériové linky komunikuje pomocí protokolu se standardním označením

STK500. Bootloader je uložen v paměti FLASH a ochuzuje celkovou paměť o 8 kB (u ATMEGA2560). V případě potřeby lze bootloader smazat a uvolnit tak 8 kB pro další využití. Smazáním se však připravíme o možnost komunikace s PC pomocí USB rozhraní. [Arduino.cc, 2018]

Další možností, jak naprogramovat cílový mikroprocesor je s použitím externího programátoru, který se připojí na šesti pinový ICSP konektor umístěný na desce Arduino. Tuto možnost lze využít, pokud nemáme možnost připojení pomocí USB.

## 2 Jednoduché programy pro test modulu

Za účelem seznámení se s hardwarem a vývojovým prostředím, ale taky k ověření funkčnosti hardwaru je vhodné vytvořit jednoduché programy.

### 2.1 Blikání LED diody

Jako první program napsaný v kompilačním softwaru Arduino IDE je smyčka, která způsobí zapnutí a vypnutí LED diody. Zdrojový kód vypadá následovně:

```
void setup() {  
  pinMode(13, OUTPUT);    // nastavení pinu 13 jako výstupní  
}  
  
void loop() {  
  digitalWrite(13, HIGH); // zapne LED diodu  
  delay(1000);            // zpoždění 1000 milisekund  
  digitalWrite(13, LOW);  // vypne LED  
  delay(1000);            // zpoždění 1000 milisekund  
}
```

Obr. 3 - Zdrojový kód blikání LED diody

Dioda je připojena sériově s rezistorem k pinu číslo třináct. Pro tento program nebylo nutné připojovat diodu k Arduino desce, protože je zde implementována přímo od výroby.

### 2.2 Čtení z maticové klávesnice

Rozblikat diodu se podařilo, byla tedy ověřena funkčnost, avšak pro tento projekt je to prakticky nevyužitelné. Proto další program, jehož funkce budou využity v tomto projektu provádí čtení z maticové membránové klávesnice o čtyřech řádcích a čtyřech sloupcích. V tomto případě se už nejedná o program, na který stačí pouze čtyři řádky. Z tohoto důvodu je tady použita knihovna, kterou lze stáhnout z oficiálních stránek projektu Arduino [ANDREWS, 2018]. Knihovna zredukuje potřebný počet řádků na minimum a značně usnadní práci. V programu dáme vědět kompilátoru o použití této knihovny příkazem `#include <Keypad.h>`. Dále je nutno pro správnou funkci klávesnici nadefinovat (obr. 4).

```

const byte ROWS = 4; // počet řádků
const byte COLS = 4; // počet sloupců

// definice symbolů na klávesnici
char hexaKeys[ROWS][COLS] = {
  {'0','1','2','3'},
  {'4','5','6','7'},
  {'8','9','A','B'},
  {'C','D','E','F'}
};

// piny pro řádky maticové klávesnice
byte rowPins[ROWS] = {3, 2, 1, 0};

// piny pro sloupce maticové klávesnice
byte colPins[COLS] = {7, 6, 5, 4};

```

Obr. 4 - Zdrojový kód – definice klávesnice

Nyní již stačí klávesnici inicializovat a nastavit sériovou komunikaci mezi mikroprocesorem a stolním počítačem (obr. 5). Hlavní program vyčká na příjem znaku z klávesnice a ten vypíše v komunikačním terminálu (obr. 6).

```

// inicializace
Keypad customKeypad = Keypad( makeKeymap(hexaKeys), rowPins,
colPins, ROWS, COLS);

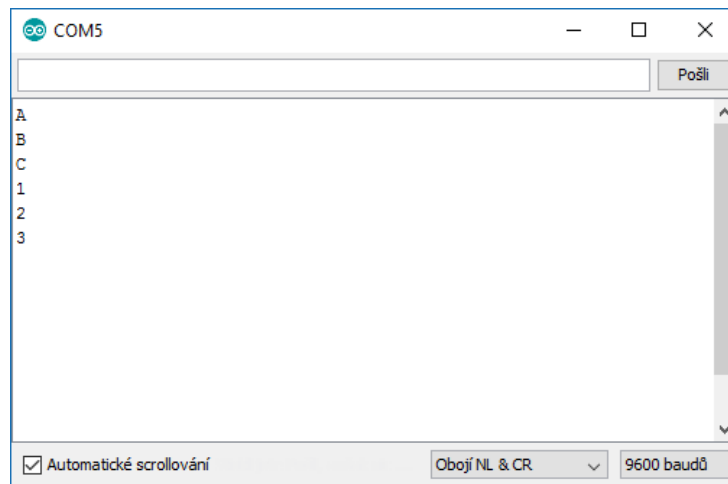
void setup(){
  Serial.begin(9600);
}

// hlavní smyčka
void loop(){
  char customKey = customKeypad.getKey();

  if (customKey){
    Serial.println(customKey);
  }
}

```

Obr. 5 - Zdrojový kód – čtení z klávesnice

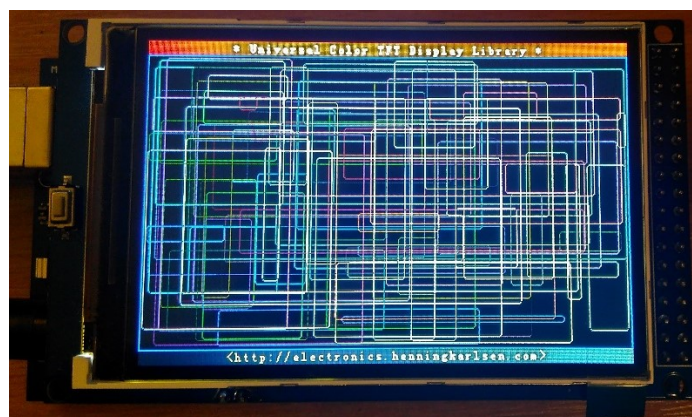


Obr. 6 - Výpis znaků v terminálu

Terminál je součástí vývojového prostředí a najdeme ho v hlavní nabídce v sekci Nástroje pod názvem Sériový monitor.

### 2.3 Test LCD shieldu

LCD displej je důležitou součástí projektu. Lze na něm vyčíst všechny důležité informace potřebné pro správný běh finálního programu. Jedná se o barevný grafický displej o rozlišení 320 x 480 pixelů. Úhlopříčka činí 3,2 palce což je přibližně 8 centimetrů. Displej je vyrobený formou shieldu, který přesně odpovídá pinům vývojové desky Mega 2560. Využívá řadiče CTE32HR a pro ovládání je třeba několik složitých instrukcí. Proto je i v tomto případě použita volně dostupná knihovna pro Arduino, kterou vytvořil Henning Karlsen a k dispozici je na autorském webu. [KARLSEN, 2018]



Obr. 7 - Test LCD shieldu

### 3 Popis řízeného systému a technologie extrakce medu

Abychom správně pochopili, k čemu navrhované zařízení slouží a co se během procesu zpracovává, rozhodl jsem se produkt a technologii popsat v této kapitole.

#### 3.1 Vznik medu

Med jako takový nevzniká samostatně na květech rostlin a stromů, jak se domnívá mnoho lidí. Med je produkt včel, který vzniká ve včelím úlu. Základní surovinou potřebnou k produkci medu je nektar.

Nektar je cukernatá tekutina vyskytující se na mnoha rostlinách. Podle druhu medu však nemusí jít pouze o nektar jako o základní surovinu. Roli hraje umístění včelích úlů. Pro úly umístěné poblíž louky nebo kvetoucích polí bude primární surovina nektar, nicméně pro včelí úly umístěné uprostřed lesa bude primární surovina medovice. [BOHÁČ, 2005]

Medovice se na rozdíl od nektaru nevyskytuje na rostlinách, nýbrž na stromech. Je to lepkavá tekutina bohatá na cukry, jedná se o vedlejší produkt medovicových producentů, jako jsou například mšice.



Obr. 8 - Včela sbírající medovici z listu stromu [DRUHOVEMEDY.CZ, 2018]

Včela získávající tyto produkty se na našem území nazývá Včela medonosná, latinsky *Apis mellifera*. Ve včelím úlu žijí vždy tři druhy těchto včel (obr. 9). Vždy jedna včelí královna, která má jako jediný úkol naklást co nejvíce včelích vajíček, pak několik málo samečků tohoto



druhu nazývaných trubec, ten má za úkol pouze oplodnit královnu a je zajímavý tím, že nemá žihadlo. Nakonec největší počet v řádech několika stovek až tisíců jsou to včely nazývané dělnice, které jako jediné přinášejí do úlu suroviny pro výrobu medu. Krom medu mají také za úkol starat se o včelí královnu a krmit líhnoucí se včely.



Obr. 9 - Druhy včel v úlu [VCELARIME.UNAS.CZ, 2018]

Po přiletu na včelí květ nasaje včela dělnice sosákem nektar (obr. 10) (popřípadě medovici, pokud včela saje ze stromů) do svého medového váčku, pokud je ho málo, pokračuje k dalšímu květu do té doby, než se medový váček zcela zaplní nektarem a vrátí se zpět do domovského včelího úlu, kde předá svůj obsah dalším několika včelám. V tomto procesu včely navzájem předávají do medu a mezi sebou enzymy a aminokyseliny. Důležité také je, že během výměny nektaru se také odpaří několik procent vody a dojde tím ke zhuštění. Včely nektar zakonzervují do včelí buňky (Obr. 11), která se nachází uvnitř včelího úlu. Důvod výroby medu je prostý, med totiž slouží jako potrava pro včely během zimy, kdy jsou včely schovány uvnitř úlu a ven nevylétají, protože defacto není pro co. Jelikož ve včelím úlu svým pohybem udržují teplotu okolo 35 °C až 40 °C, dochází k odpařování vody ze včelích pláství a sníží tak obsah vody v nektaru až na cca 20 % . [PLEVA, 2018]



Obr. 10 - Včela medonosná sající nektar z květu [WIKIMEDIA.ORG, 2018]

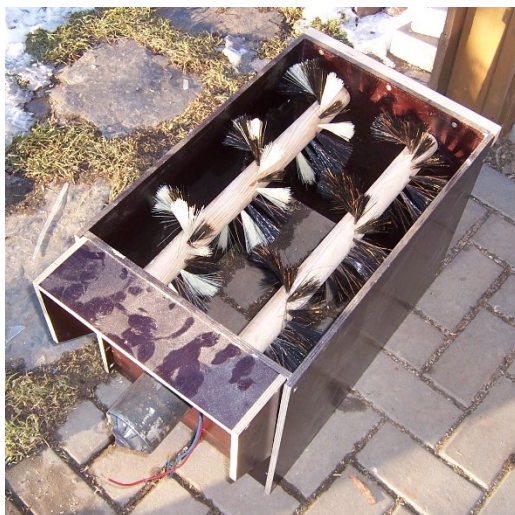


Obr. 11 - Včely ukládající med do včelích buněk [OHMYGODFACTS.COM, 2018]

### 3.2 Sběr medu

Ve včelích buňkách je nektar včelami zavíčkován a připraven zakonzervovaný jako budoucí potrava na zimu. V tomto stádiu je pravý čas k extrakci medu ze včelích buněk. Včelí buňky se nachází na plástvi, jde o plát včelího vosku, který je umístěn na včelím rámku, ty jsou umístěny v úlu vedle sebe.

Do role vstupuje lidská část úkolu. Včelař vyjme rámký s medem, pokud možno co nejvíce. Včely se ometou tenkým smetáčkem nebo se použije ometací stroj na včelí rámký (obr. 12), abychom dále mohli pohodlněji pracovat bez znepokojujících polétajících včel a s „čistými včelími rámký“



Obr. 12 - Ometač včelích rámků

Po ometení a popřípadě transportu na pracovní stanici je potřeba odvíčkovat včelí buňky pomocí speciální široké vidličky (obr. 13). Tímto dosáhneme uvolnění cesty pro odtok medu. Takto odvíčkované rámy se vloží do stroje, který slouží k extrakci medu.



Obr. 13 - Odvíčkování včelích pláství [SUVICKA.NET, 2018]

### 3.3 Stroj k extrakci medu

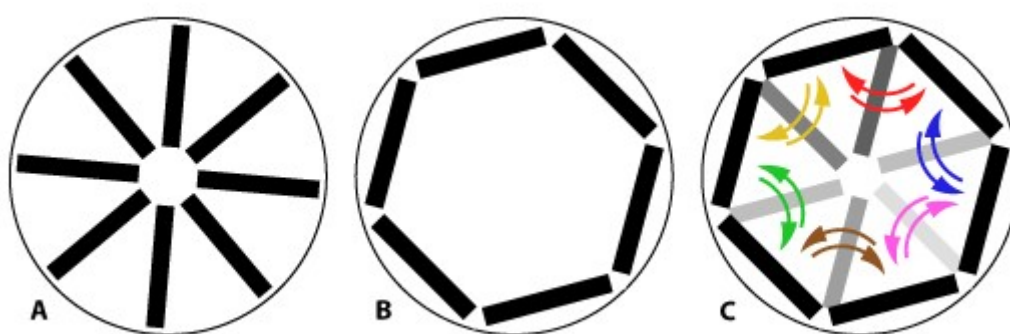
Takovýto stroj se nazývá Medomet. Je to mechanické zařízení, do něhož se vkládají odvíčkované včelí rámy, ty jsou uloženy do rotačního bubnu uvnitř medometu, který je během extrakčního procesu uveden do rotačního pohybu.

### 3.4 Základní druhy medometu

Medometry dělíme podle typu pohonu, tzn. ruční pohon klikou nebo dnes již poměrně standardním řešením pohonu s elektrickým motorem. Dále se medometry dělí podle vnitřního uspořádání bubnu (obr. 14) [iVCELARSTVI, 2018]

- Tangenciální – rámy jsou do bubnu ukládány po obvodu, výhodou je jednoduchá konstrukce bubnu, nevýhody však převažují, rámy se musí otáčet, abychom dosáhli extrakce i z druhé strany plástve a počet vložených rámků je většinou jen 3 až 6, což je poměrně málo.

- Radiální – zde jsou rámky do bubnu vkládány kolmo k ose otáčení, velikou výhodou je počet umístěných rámků, u tohoto provedení nepřetáčíme rámky na druhou stranu, pouze změním směr otáčení bubnu. Nevýhodou je nižší efektivita extrakce, než je tomu u tangenciálního provedení.
- Tangenciální zvrtné – rámky se vkládají kolmo k ose otáčení, jako tomu je u radiálních medometů, avšak po roztočení bubnu dojde k natočení medometu jako tomu je u klasických tangenciálních medometů. Změnou směru otáčení dojde k automatickému překlopení rámku na druhou stranu a dojde tak k extrakci i z druhé strany plástve.



Obr. 14 - Vnitřní uspořádání bubnu (A-radiální medomet, B-tangenciální medomet, C-tangenciální zvrtný medomet) [IVCELARSTVI.CZ, 2018]

Odstředivou silou docílíme „vylití“ medu ze včelí buňky na stěnu medometu, po které med stéká dolů a skrze výtokový otvor se dostává do sběrné nádoby. U medometu radiálního a tangenciálního zvrtného potřebujeme reverzaci otáček, jinak by zbyla polovina medu na druhé straně včelích pláství.

### 3.5 Použitý medomet

Medomet použitý v tomto projektu (obr. 15) je vyroben z nerez a je radiálního typu. Do vnitřního radiálního bubnu (obr. 16) můžeme vložit až šestnáct včelích rámků. Počet vyplnění bubnu není nutno striktně dodržovat, musíme však dbát na co nejpřesnější vyvážení bubnu, aby při roztočení nedocházelo k extrémním vibracím celého stroje.





Obr. 15 - Použitý radiální medomet

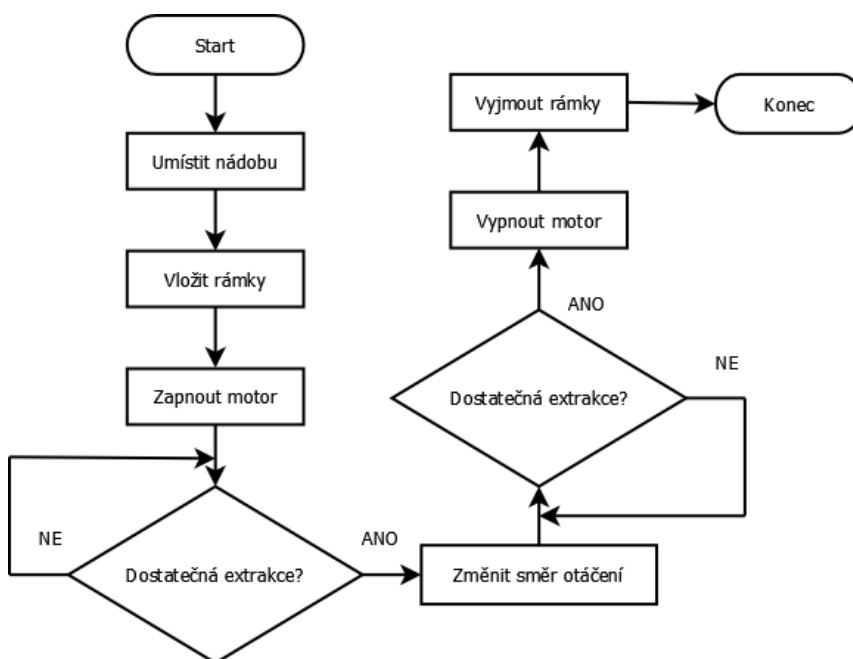


Obr. 16 - Radiální buben pro šestnáct včelích rámků

### 3.6 Postup extrakce medu v použitém medometu

1. Ujistíme se, že máme umístěnou sběrnou nádobu (obr. 18) pod výtokovým otvorem
2. Odvíčkované včelí rámky vložíme symetricky do radiálního bubnu
3. Zapneme přívod elektrického proudu k motoru, který roztočí buben kolem své osy
4. Vyčkáme několik minut, aby med vytekl z včelích pláství ven, poté uvedeme stroj do klidu

5. Změníme směr otáčení a zapneme, opět roztočíme motor, tím dojde k vytečení medu z druhé strany plástve, opět čekáme několik minut a přivedeme stroj do klidu
6. Opakujeme body 4 a 5, teď už nečekáme několik minut, ale mnohem kratší dobu, tyto body se opakují z důvodu zajištění větší výtěžnosti medu, protože ne všechen med se dostane ven z plástve již při prvním roztočení
7. Nyní můžeme vyjmout prázdné včelí rámký z bubnu, ty se později vrátí zpět do úlu



Obr. 17 - Postup extrakce medu

Celý postup je vyobrazen v diagramu (obr. 17). Během procesu je taky nutné kontrolovat stav hladiny ve sběrné nádobě, aby nedošlo k přetečení hladiny. Můžeme změřit vodnatost medu optickým refraktometrem, která se většinou pohybuje okolo 20 %, jak už bylo zmíněno v kapitole Vznik medu. Pokud je potřeba med s nižší vodnatostí a obvykle s vyšší kvalitou, tak se med ze sběrné nádoby přelévá do sušičky (obr. 19), která vodnatost zmírní až na standardních 18 %. Konečná fáze je uskladnění medu ve sklenicích.



Obr. 18 - Výtokový otvor a sběrná nádoba

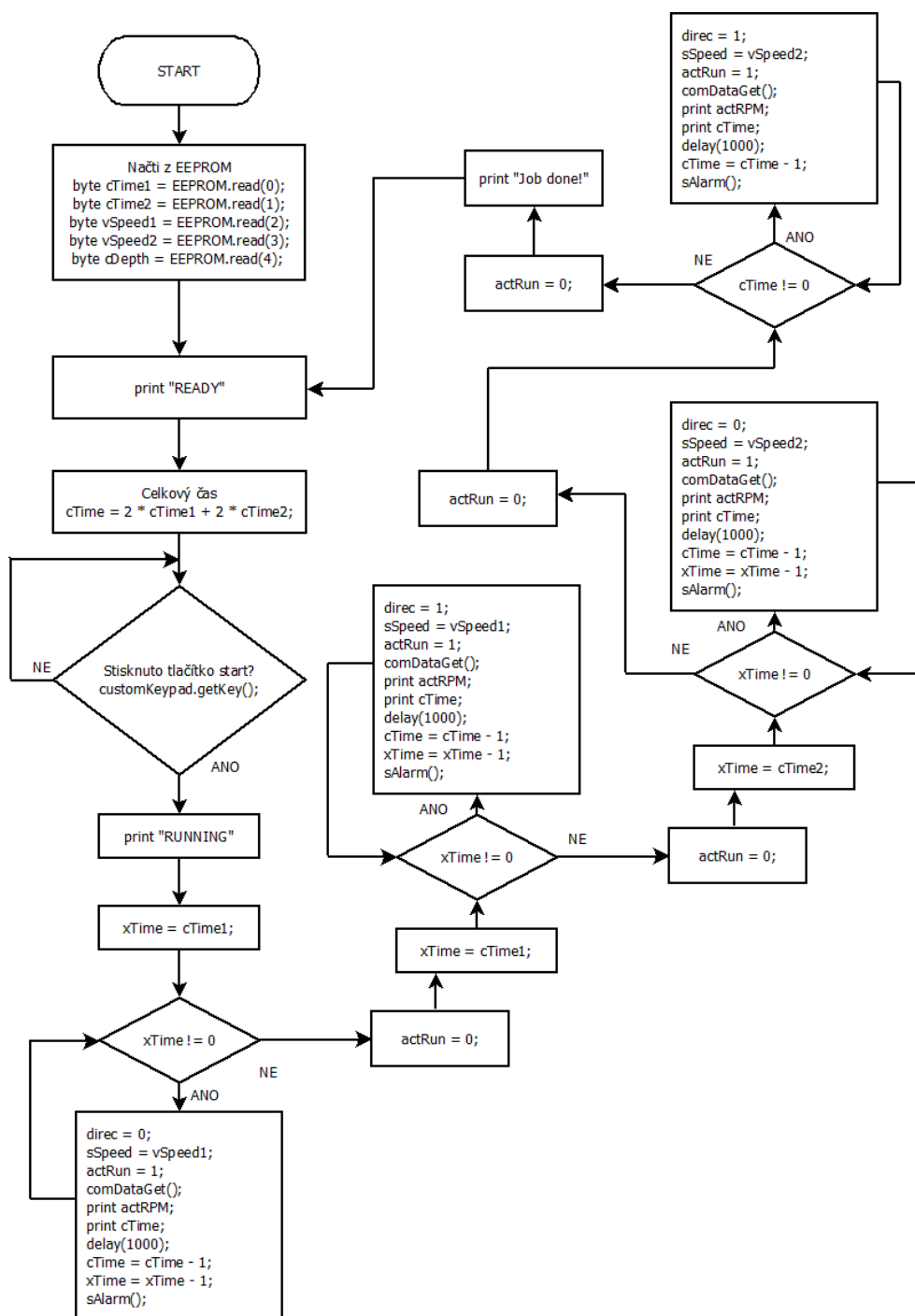


Obr. 19 - Redukce vodnatosti medu

### 3.7 Řešení automatického cyklu

V programu probíhá řešení popsané technologie pomocí funkce *doAutomatic()*. Obsluha probíhá ve smyčce znázorněné v diagramu (obr. 20). Na začátku je třeba načíst proměnné uložené v paměti EEPROM. Proměnné *cTime1* a *cTime2* jsou časy jednotlivých cyklů, *vSpeed1* a *vSpeed2* jsou požadované hodnoty otáček. Celkový čas *cTime* je součet dvojnásobku *cTime1* a *cTime2*, protože každý cyklus spouštíme se stejným časem i v opačném směru otáčení bubnu. Po stisknutí tlačítka pro spuštění dojde k rozeběhnutí smyčky s parametrem směru otáčení *direc*, rychlosti *sSpeed* a povolení k rozběhu motoru *actRun*. V každém cyklu je odpočítáván určený čas, poté dojde k přechodu na další cyklus do té doby,

než proměnná *cTime* dosáhne nulové hodnoty. Při běhu smyčky jsou volány také funkce *comDataGet()* a *sAlarm()*. Funkce *comDataGet()* komunikuje s vývojovou deskou Arduino Nano, získává informace o aktuálních otáčkách. Funkce *sAlarm()* provádí procentuální výpočet zaplnění sběrné nádoby, je-li vypočtená hodnota větší než 85, dojde k indikaci alarmové hlášky na displeji a spuštění tónového upozornění ze bzučáku. Stav alarmu nemá vliv na běh cyklu.

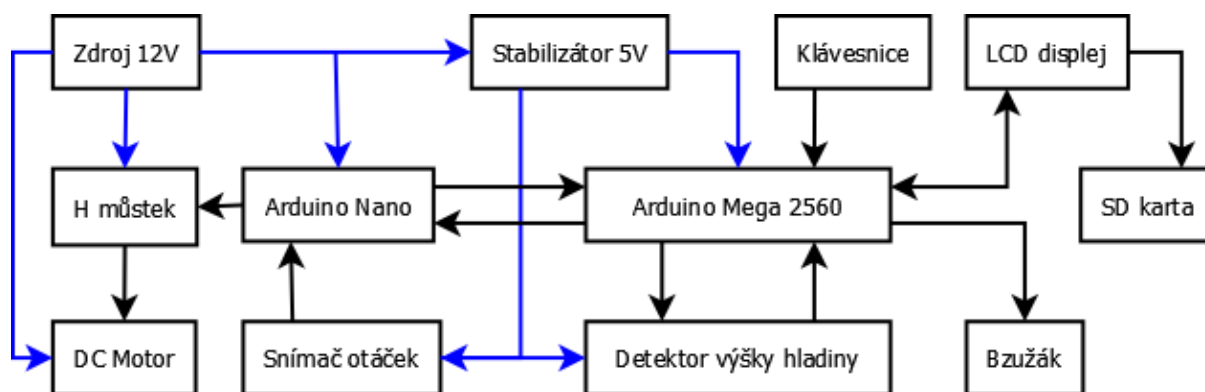


Obr. 20 - Vývojový diagram automatické smyčky



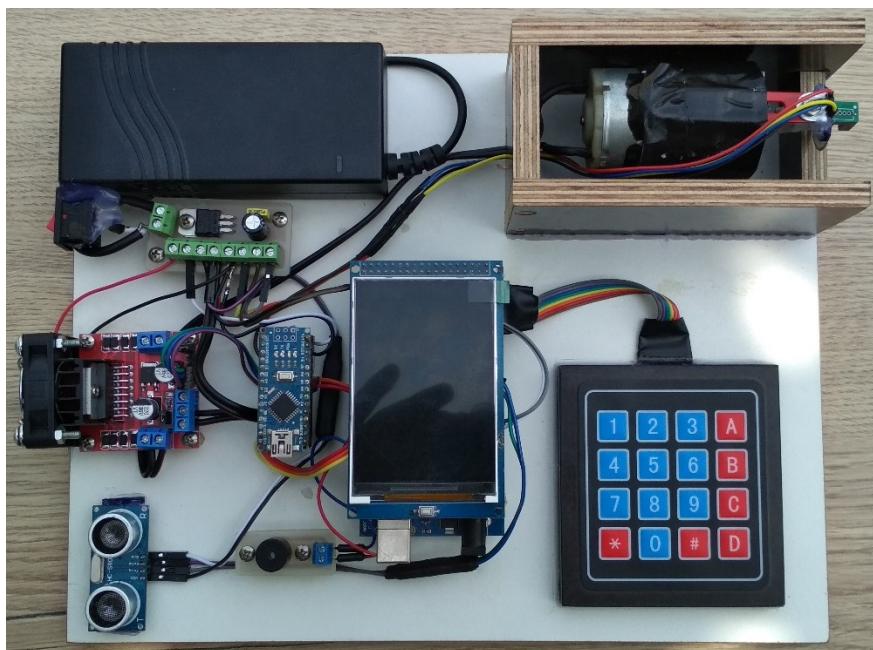
## 4 Reálný model systému

Návrh blokového schématu (obr. 21) cílového zařízení. Napájení je zařízeno síťovým zdrojem, kde pomocí jakéhokoli vhodného adaptéru nebo transformátoru usměrníme na dvanáct voltů. Tímto napětím budeme napájet H můstek a motor. Pro zbytek součástí je toto napětí moc vysoké a musí se snížit na pět voltů, např. pomocí stabilizátoru. Centrem řízení je jednočipový počítač integrovaný na vývojové desce Arduino, ten komunikuje s komponentami jako je snímač otáček motoru, detektor výšky hladiny mezu, dále taky snímá tlačítka klávesnice, zobrazuje informace na displeji a signalizuje akustickým signálem pomocí bzučáku.



Obr. 21 - Blokové schéma modelu

Pro lepší vývoj systému a názornou ukázkou připojení všech komponent byl vytvořen model (obr. 22), který je umístěn na dřevěné desce o rozměru 28 x 22 cm.



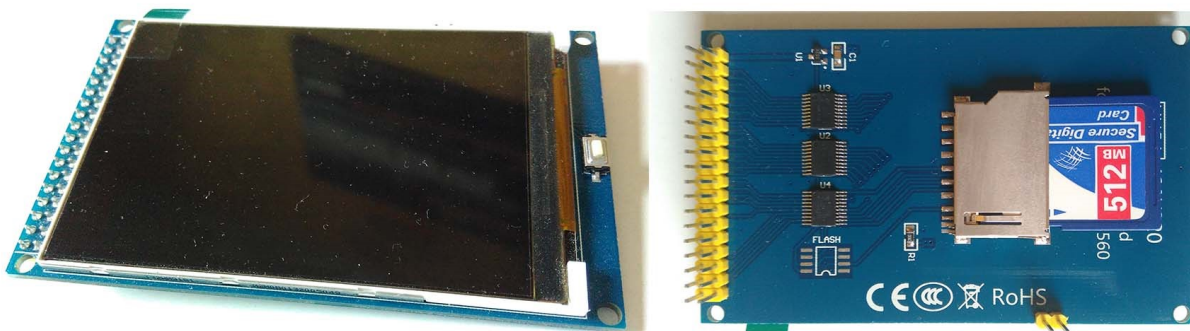
Obr. 22 - Model systému

Deska vychází z blokového schématu, nachází se zde zdroj stejnosměrného napětí 12 V, který je napájen ze sítě. Dále je napětí zredukováno a stabilizováno na 5 V, pomocí kterého se napájí zbytek komponent, jako jsou Arduino desky, snímač otáček a ultrazvukový měřič vzdálenosti.

#### 4.1 Grafický LCD displej

Důležitou součástí je LCD displej (obr. 23), zobrazují se na něm veškeré informace o procesu. Displej má rozměry téměř totožné jako modul Arduino Mega 2560, protože je zhotoven ve formě shieldu, tedy modulu, který se nasune na piny desky Arduino. Úhlopříčka displeje činí 3,2 palce a má rozlišení 320 x 480 pixelů. Displej je bez dotykové vrstvy. Na zadní straně je implementován socket pro SD kartu.

Karta je použita jako úložiště pro grafický materiál, který je náročný na paměť a při nahrávání grafiky do paměti procesoru by nezbylo žádné místo pro program. SD karta musí být naformátovaná na souborový systém FAT16, s jiným souborovým systémem neumí knihovna použitá pro displej a SD kartu pracovat. Kapacita použité karty má velikost 512 MB.

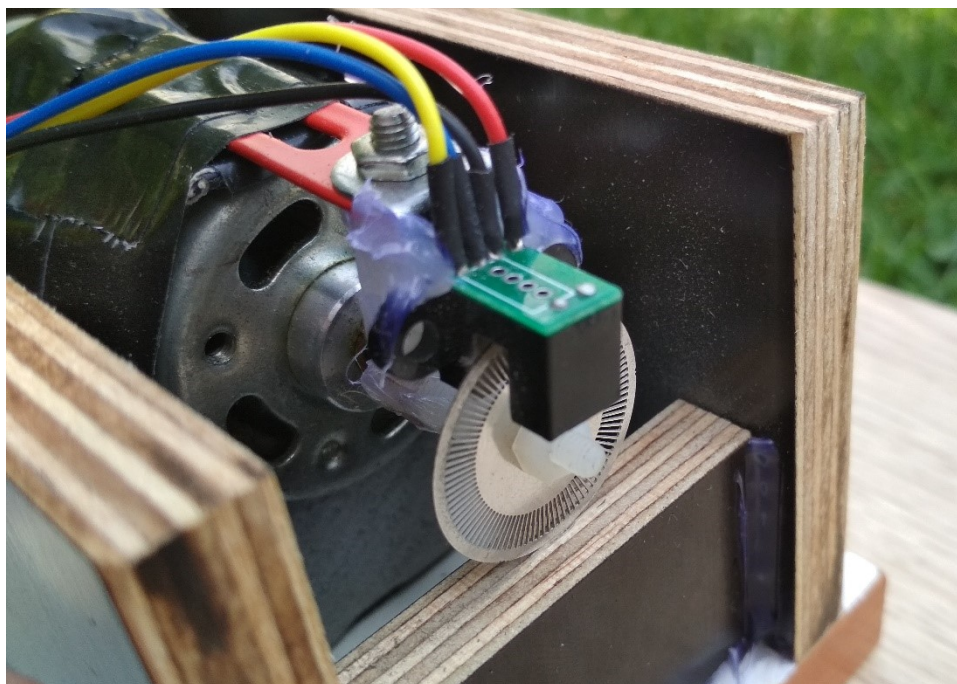


Obr. 23 - LCD displej s SD kartou

Při vykreslování grafiky na displej postupujeme, jako kdybychom sestrojovali a skládali jednotlivé vrstvy na sebe. Například pro vykreslení části hlavní obrazovky (obr. 34) použijeme postupně příkazy `myGLCD.fillRect(VGA_SILVER);` pro vykreslení šedého pozadí, `myGLCD.fillRect(0, 0, 320, 20);` pro modré obdélníky, `myGLCD.print("Choose mode:", 5, 2);` pro výpis textu a příkaz `myFiles.loadBitmap(25, 80, 60, 60, "ibA.raw");` načte grafiku z SD karty.

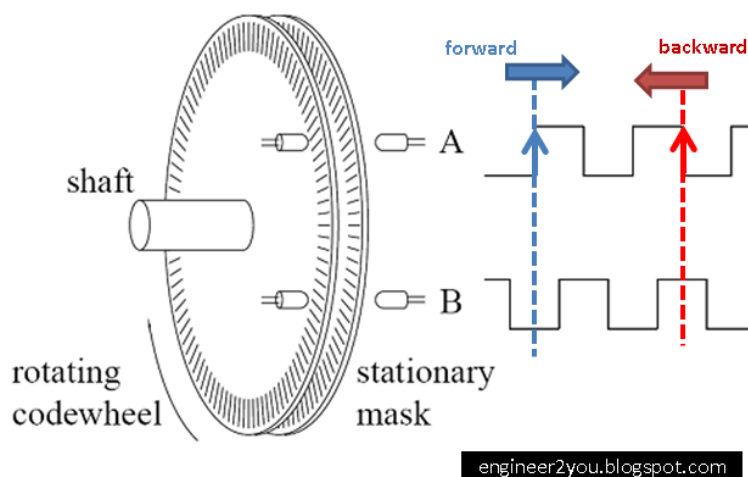
## 4.2 Snímač otáček

Pro snímání otáček motoru je použit optický snímač (obr. 24) od firmy Hewlett-Packard. Samotný snímač se skládá z infračervené diody a fototranzistoru. Mezi těmito dvěma prvky rotuje disk, který je rovnoměrně rozdělen na části propouštějící světlo a části, které světlo nepropustí. Disk použitý na modelu je rozdělen na sto částí propouštějící světlo, při snímání otáček tedy dostaneme sto pulzů na otáčku.



Obr. 24 - Snímač otáček

Snímač není osazen na vlastní DPS, protože není zapotřebí obvod nijak složitě zapojovat. Pro připojení máme čtyři vodiče. Černý a červený vodič slouží pro přivedení stejnosměrného napětí 5V. Modrý a žlutý vodič vysílá impulzy na TTL úrovni do Arduino desky. Pro zjištění otáček nám stačí připojit pouze jeden z těchto vodičů připojený na externí přerušení – pin A2. Pokud bychom potřebovali snímat i směr otáčení motoru, je nutné tyto vodiče připojit oba. Směr poznáme podle toho, že podle pulzy jsou navzájem pootočený o  $90^\circ$  (obr. 25).



Obr. 25 - Signál pro směr otáčení [ENGINEER2YOU.BLOGSPOT.COM, 2018]

Výpočet aktuálních otáček je závislý na počtu impulsů, který dostaneme za jednu otáčku, v našem případě 100 pulzů na otočku. Snímání probíhá tak, že v programu nastavíme časovač, který přeteče každých 100 milisekund a vypočte počet otáček  $n$  podle rovnice:

$$n = 60 \cdot \frac{\text{počet pulzů}}{\text{pulzy na otáčku}} \div \text{čas měření} [\text{min}^{-1}] \quad (1)$$

V programu vypadá výpočet takto:

```
pv_speed = 60.0 * (encoder / 100.0) / 0.1;
```

Obr. 26 - Výpočet otáček

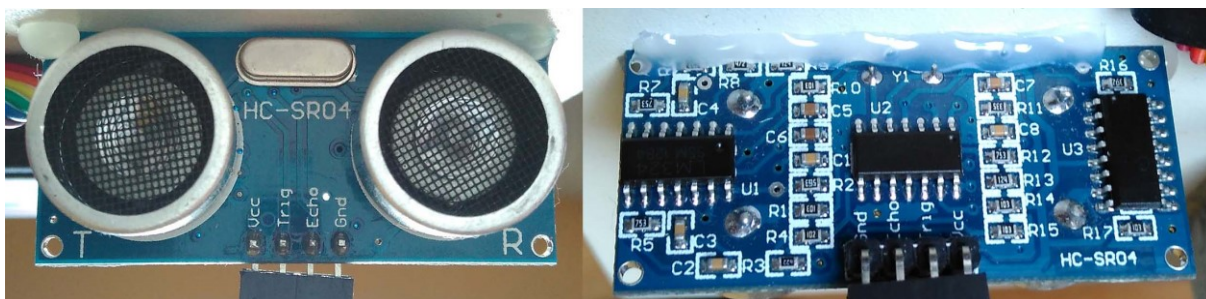
V modelu je při výpočtu také zohledněn převodový poměr z pastorku na buben. Zredukují se tak vypočtené otáčky na hodnotu, kterou vidíme na displeji. Převodový poměr je stanoven hodnotou čtyřicet a měnit se dá v programu.

#### 4.3 Snímač výšky hladiny

Ve sběrné nádobě je třeba hlídat výšku hladiny, aby nedošlo k přetečení medu ven z nádoby. V úvahu připadalo použít odporový nebo kapacitní snímač, jenže pro funkčnost potřebují vlastní kontakt s kapalinou, což se jeví jako celkem nepříjemná nevýhoda, když vezmeme v úvahu, že bychom museli po každé výměně snímač čistit od lepkavé tekutiny.



Zvoleno bylo třetí řešení v podobě ultrazvukového snímače vzdálenosti. Ultrazvukový snímač je bezkontaktním řešením, jak zjistit výšku hladiny v nádobě. Použitý je již hotový ultrazvukový modul pod označením HC-SR04 (obr. 27). K mikroprocesoru se připojuje pomocí dvou pinů – Echo a Trigger.



Obr. 27 - Ultrazvukový snímač vzdálenosti

Měření probíhá tak, že na pin Trigger přivedeme skok polohy v délce deseti mikrosekund. Poté na pinu Echo očekáváme hodnotu rovnou časové odezvě signálu (obr. 28), tedy dobu, za jakou se signál odrazil od hladiny a doputoval zpět ke snímači. Následně proběhne výpočet vzdálenosti  $s$  podle rovnice: [Ultrasonic Sensor HC-SR04 and Arduino Tutorial, 2017]

$$s = t \cdot \frac{0,034}{2} [cm] \quad (2)$$

Kde  $t$  je čas, za který se dostaví signál z vysílače zpět do přijímače.

Programový zápis vypadá takto:

```
digitalWrite(trigPin, HIGH);
delayMicroseconds(10);
digitalWrite(trigPin, LOW);

duration = pulseIn(echoPin, HIGH);

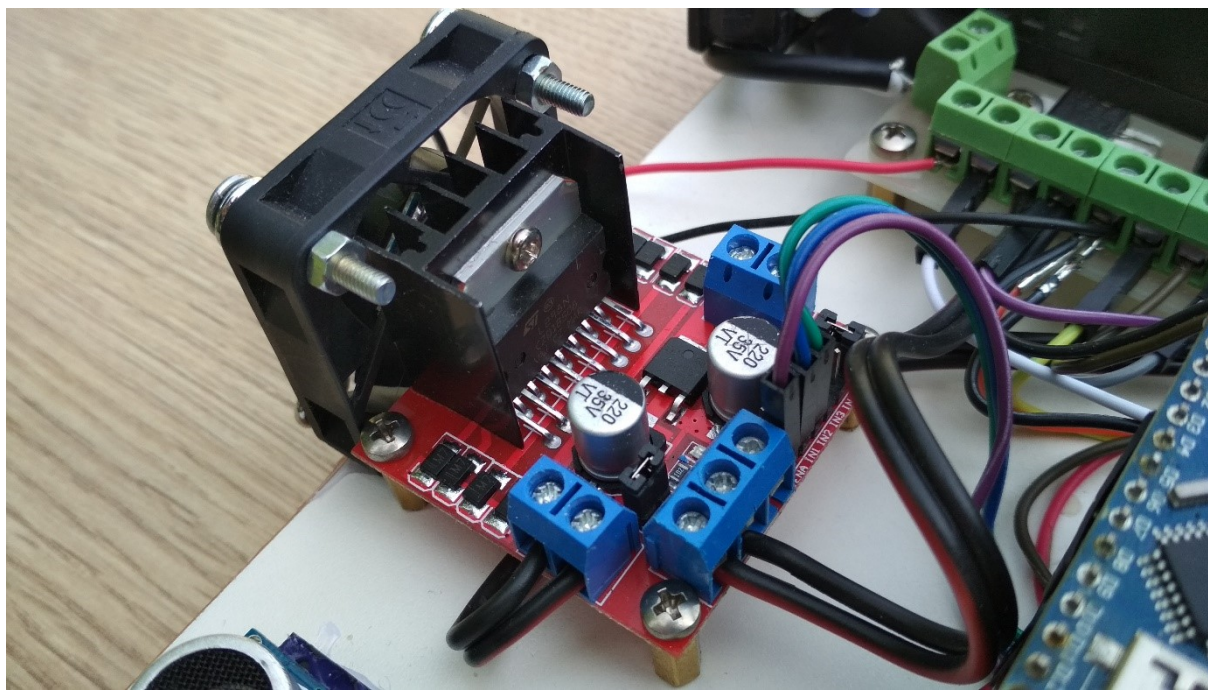
distance= duration*0.034/2;
```

Obr. 28 - Výpočet vzdálenosti

#### 4.4 H-můstek

Řízený motor má odběr přibližně osm ampér a nelze ho tak připojit přímo k pinům s pulzně šířkovou modulací. V modelu je použit motor s odběrem proudu naprázdno přibližně

devět set miliampér. I toto je však pro řízení přímo z pinů hodně. Abychom dokázali řídit motor s takovýmto odběrem je potřeba vyřešit zesílení spínacích pulzů. Během procesu se mění několikrát směr otáčení motoru. Pro tyto účely je jako výkonová spínací část použit H můstek (obr. 29).



Obr. 29 - H-můstek

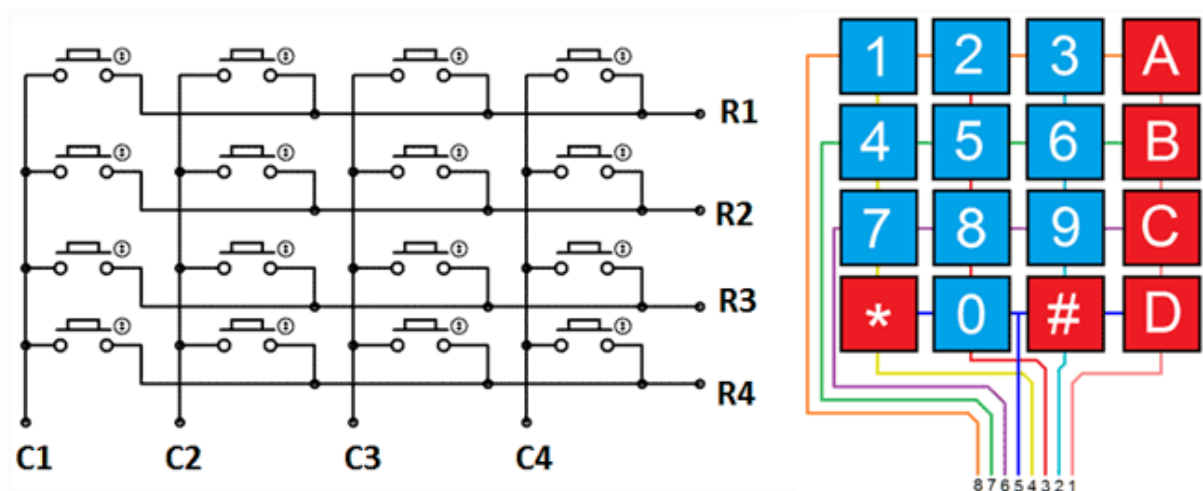
Jedná se o sériově vyráběný modul H-můstku s integrovaným obvodem L298N, který dokáže řídit jeden dvoufázový krokový motor, jeden čtyřfázový krokový motor nebo až dva DC motory. Dokáže řídit motory s dlouhodobým odběrem proudu dvě ampéry. [ARDUINO-SHOP.CZ, 2018]

Aby nedocházelo ke zbytečnému přehřívání integrovaného obvodu, je na zadní straně chladiče namontován DC ventilátor napájený dvanácti volty přímo ze zdroje.

#### 4.5 Klávesnice

Klávesnice je membránová maticová o velikosti 4x4. Výhoda provedení maticové klávesnice je, že ušetříme několik pinů a povrch klávesnice je vyroben z jedné vrstvy materiálu, takže je klávesnice omyvatelná, což je vzhledem k prostředí také výhoda. Na obrázku modelu

(obr. 22) můžeme vidět, jak klávesnice vypadá a na obrázku níže (obr. 30) je schéma zapojení maticové klávesnice.



Obr. 30 - Schéma klávesnice, [CIRCUITDIGEST.COM, 2018]

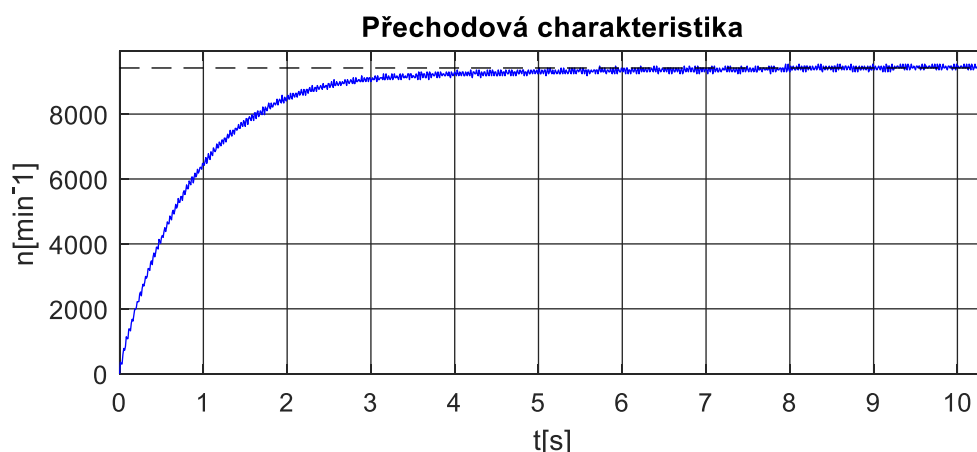
#### 4.6 Motor

Na modelu je umístěn stejnosměrný DC motor vymontovaný z pokažené akuvrtačky. Motor nemá vyraženo žádné značení, ale podle parametrů akuvrtačky je zřejmé, že se jedná o motor určený pro napětí dvanáct voltů. Po připojení na napájecí zdroj jsem naměřil multimetrem tekoucí proud o velikosti devět set miliampér při běhu naprázdno. Otáčky měřené analogovým otáčkoměrem dosáhly hodnoty patnácti tisíc otáček za minutu. Při použití plného PWM signálu se motor otáčí rychlostí dvanácti a půl tisíce otáček za minutu. V porovnání s naměřenou přechodovou charakteristikou (obr. 32) jsem ověřil funkčnost snímače, protože ukazuje stejnou ustálenou hodnotu jako při měření analogovým otáčkoměrem.



Obr. 31 - Motor použitý v modelu [WIKIMEDIA.ORG, 2018]





Obr. 32 - Přechodová charakteristika

#### 4.7 Komunikace mezi deskami

Mezi deskami Arduino Mega2560 a Arduino Nano probíhá obousměrná komunikace pomocí sběrnice I<sup>2</sup>C. Jedná se o sériovou sběrnici patentovanou společností Philips. Můžeme se také setkat s označením TWI. Toto označení využívají mnozí výrobci, protože nepodléhá patentovanému označení I<sup>2</sup>C. Jedná se o téměř totožnou sériovou sběrnici. Komunikace probíhá po dvou vodičích označených jako SDA a SCL. Na jednu sběrnici lze připojit až 128 zařízení. Každé zařízení má svoji jedinečnou adresu pro svoji identifikaci. [ITNETWORK, 2018]

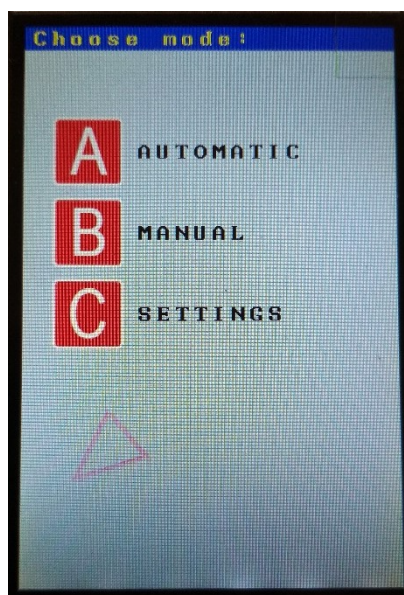
Pro Arduino Nano jsem použil adresu 0x55 a pro Arduino Mega 0x54. Toto rozhraní využívá knihovnu Wire.h. Čtení požadovaných dat (obr. 33) probíhá velice jednoduše, nejprve si řekneme na jakou adresu má komunikace směřovat a kolik máme přečíst bytů, pak postupně přiřadíme proměnným jednotlivé byty.

```
Wire.requestFrom(54, 4);
mDir = Wire.read();
sSpeed = Wire.read();
sRatio = Wire.read();
runMotor = Wire.read();
```

Obr. 33 - I<sup>2</sup>C čtení dat

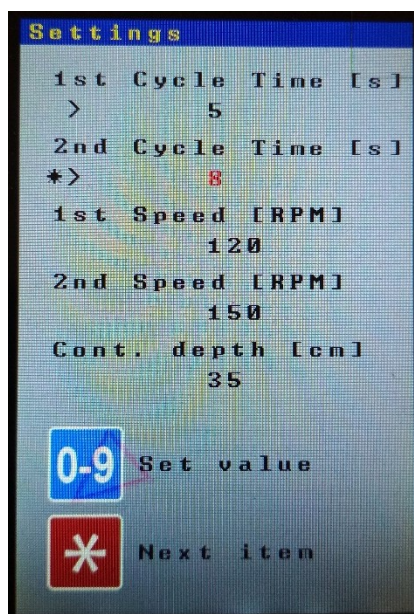
## 5 Uživatelské prostředí

Po spuštění aplikace se na displeji zobrazí hlavní menu (obr. 34). Na výběr mámě tři možnosti, jak v aplikaci pokračovat. Vybranou volbu potvrdíme stisknutím příslušného tlačítka na klávesnici. Nejprve je vhodné při prvním spuštění zkontrolovat konfiguraci v menu „Settings“ (obr. 35) do kterého se dostaneme, jak nám již na obrazovce napovídá ikona, stisknutím tlačítka „C“ na klávesnici.



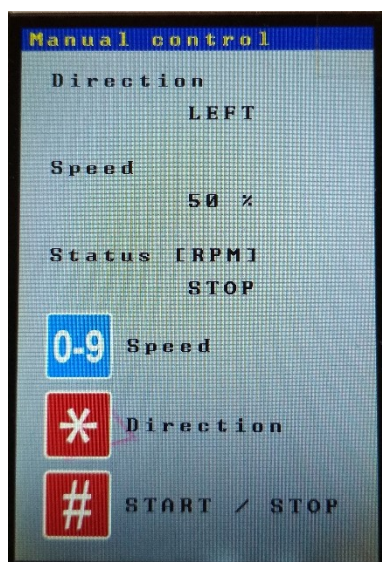
Obr. 34 - Hlavní menu

Nastavit můžeme celkem pět parametrů potřebných pro interní výpočty a správný běh programu. První položka určuje dobu trvání prvního dvojcyklu, to znamená dobu otáčení jedním směrem a po skončení také dobu otáčení druhým směrem. Druhá položka určuje totéž pro druhý dvojcyklus. Následující dvě položky určují rychlost otáčení pro každý cyklus. Poslední věc se týká hloubky sběrné nádoby. Nastavujeme zde hloubku od ultrazvukového snímače ke dnu nádoby. Podle této hodnoty provádí program výpočet pro stav zaplnění sběrné nádoby.



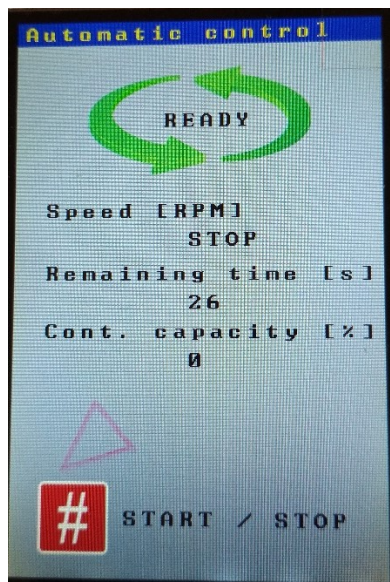
Obr. 35 - Menu nastavení

Další položky v hlavním menu jsou určeny pro obsluhu stroje. Můžeme využít ruční ovládání motoru, to je schováno pod volbou „Manual“, nebo automatické řízení pod volbou „Automatic“.



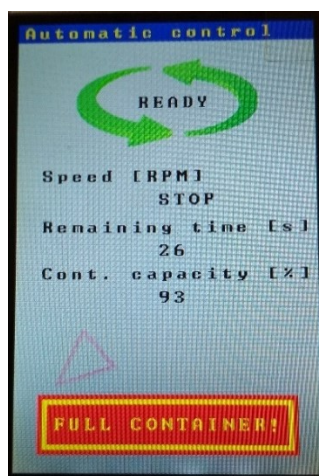
Obr. 36 - Ruční ovládání

V menu ručního ovládání (obr. 36) můžeme přepínat směr otáčení a volit rychlost otáčení pomocí procentuálního výkonu. Na spodním řádku získáváme informaci o aktuálních otáčkách motoru. Ke spuštění a zastavení motoru používáme pouze jedno tlačítko.



Obr. 37 - Automatické ovládání

Nejdůležitější část aplikace je automatické ovládání (obr. 37). Aplikace si načte údaje z nastavení a spustí proces jediným tlačítkem na klávesnici. Během celé doby procesu nás obrazovka informuje o aktuální rychlosti otáčení motoru, zbývajícím času do konce celkového procesu a hodnotu zaplnění sběrné nádoby. Při alarmujícím stavu hladiny nás aplikace upozorní vizuálně (obr. 38) a akustickým signálem pomocí bzučáku, který je vidět na modelu (obr. 22) vlevo vedle displeje.



Obr. 38 - Alarmová hláška

## 6 Závěr

V této bakalářské práci bylo úkolem navrhnout automatizační jednotku pro stroj sloužící k extrakci medu z včelích pláství zvaný „medomet“. Nejprve jsou popsány možnosti programování vývojových desek Arduino. Pro vývoj a psaní zdrojového kódu je využito vývojového prostředí Arduino IDE a virtuálního sériového UART rozhraní, které vytváří Arduino s osobním počítačem.

Pro realizaci automatizační jednotky je použit jednočipový počítač Atmega2560, který je osazený na open-source modulu Arduino. Jelikož nastaly problémy s chováním při běhu časovače a současného ovládání motoru pomocí pulzně šířkové modulace, je použit ještě jeden samostatný jednočipový počítač Atmega328, který slouží jako samostatná obsluha motoru, jako jeho regulátor a snímač otáček. Tyto dva jednočipové počítače mezi sebou komunikují pomocí sběrnice I<sup>2</sup>C. K hlavní desce Mega2560 jsou připojeny kromě snímače otáček všechny ostatní vstupní i výstupní periferie.

Model využívá napájení ze spínaného adaptéru o nominálním napětí 12 voltů a dodávaným proudem několik jednotek ampér, což je pro tento model plně postačující. V reálném zařízení se používá zdroj o stejném napětí, avšak proudy už jsou v rozmezí desítek ampér. Pro napájení vývojových desek Arduino a ostatních periférií bylo nutné snížit napájecí napětí na úroveň 5 voltů. To je vyřešeno pomocí lineárního regulátoru.

Pro snímání parametrů stroje byl zvolen optický snímač otáček od firmy Hewlett-Packard, který pracuje na principu infračervené závory. Celý snímač je připevněn na konstrukci motoru a připojuje se k Arduino Nano desce pomocí čtyř vodičů. Využity jsou však pouze tři vodiče, jelikož nebylo zapotřebí snímat směr otáčení motoru. Dále je použit ultrazvukový měřič vzdálenosti, který se v reálu umístí na vrchní okraj sběrné nádoby a pomocí ultrazvukových vln vyhodnocuje procentuální zaplnění produktem. V případě zaplnění nádoby z více jak 85 % dostaneme audiovizuální upozornění na LCD displeji s pomocí piezoakustického elementu s vlastním oscilátorem, který je připojen z důvodu velmi malého odběru proudu přímo na piny vývojové desky Arduino. Upozornění nemá vliv na běh programu. Použití ultrazvukového řešení je výhodné v tom, že měření je zcela bezkontaktní. Proto se nemusíme obávat opotřebení ve formě koroze, jako tomu může být například u odporových nebo kapacitních snímačů výšky hladiny. Jako vstupní periferie je použita maticová klávesnice o velikosti čtyř sloupců a čtyř

řádků. Velkou výhodou je dostatečná velikost tlačítek a povrchové zpracování klávesnice, protože se dá omývat. Pro vizualizaci je použit barevný LCD displej umístěný na desce Arduino Mega2560 ve formě shieldu. Displej není vybaven dotykovou vrstvou. Na spodní straně shieldu je slot pro paměťové karty. Nachází se zde karta o velikosti 512 MB, na které jsou uloženy soubory potřebné pro grafické vykreslení objektů na displej. Řízení motoru obstarává kromě regulátoru také H-můstek, jakožto výkonová část vybavená integrovaným obvodem L298N.

Při dalším řešení by bylo vhodné najít způsob jak zařízení ovládat pouze jedním mikroprocesorem. Vše je zkompletováno na funkčním modelu kopírující blokové schéma a při výměně H-můstku za obvod umožňující pracovat s většími proudy jej lze připojit na reálné zařízení.



## Použitá literatura

- ARDUINO.CC, *Arduino* [Online]. [cit. 2018-04-10]. Dostupné z: <https://store.arduino.cc>
- BOHÁČ, Jindřich. *O vzniku medovicového medu* [Online]. [cit. 2018-04-10]. Dostupné z: [http://www.psnv.cz/old\\_web/clanek-o-vzniku-medovicoveho-medu.htm](http://www.psnv.cz/old_web/clanek-o-vzniku-medovicoveho-medu.htm)
- PLEVA, *Jak včely vyrábějí med? Kde vzniká?* [Online]. [cit. cit. 2018-04-10]. Dostupné z: <http://www.pleva.cz/a/jak-vcely-vyrabeji-med-kde-vznika>
- IVCELARSTVI. *Medometry* [Online]. [cit. 2017-04-10]. Dostupné z: <https://www.ivcelarstvi.cz/medometry/>
- ANDREWS, Christopher. *Arduino Playground – Keypad Library* [Online]. [cit. 2018-04-10]. Dostupné z: <http://playground.arduino.cc/uploads/Code/keypad.zip>
- KARLSEN, Henning. *UTFT - Rinky-Dink Electronics Library* [Online]. [cit. 2018-04-10]. Dostupné z: <http://www.rinkydinkelectronics.com/download.php?f=UTFT.zip>
- Ultrasonic Sensor HC-SR04 and Arduino Tutorial, *How To Mechatronics* [online]. [cit. 2018-04-10]. Dostupné z: <http://howtomechatronics.com/tutorials/arduino/ultrasonic-sensor-hc-sr04/>
- ARDUINO-SHOP.CZ, *Arduino H můstek pro krokový motor L298N Dual H Most DC* [online]. [cit. 2018-04-10]. Dostupné z: <https://arduino-shop.cz/arduino/877-arduino-h-mustek-pro-krokovy-motor-l298n-dual-h-most-dc-1420490399.html>
- DRUHOVEMEDY.CZ, *Medovice* [obrázek] . [online]. [cit. 2018-04-10]. Dostupné z: [http://www.druhovemedy.cz/img/det\\_medovice.jpg](http://www.druhovemedy.cz/img/det_medovice.jpg)
- VCELARIME.UNAS.CZ, *Druhy včel* [obrázek] . [online]. [cit. 2018-04-10]. Dostupné z: <http://www.vcelarime.unas.cz/obrazky/vcela-medonosna/vcely-druhy.jpg>
- WIKIMEDIA.ORG, *Včela medonosná* [obrázek] . [online]. [cit. 2018-04-10]. Dostupné z: [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/1/1d/European\\_honey\\_bee\\_extracts\\_nectar.jpg](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/1/1d/European_honey_bee_extracts_nectar.jpg)
- OHMYGODFACTS.COM, *Včelí plástev* [obrázek] . [online]. [cit. 2018-04-10]. Dostupné z: <http://cdn.ohmygodfacts.com/wp-content/uploads/2014/08/honfcts-001.jpg>
- SUVICKA.NET, *Odvíčkování* [obrázek] . [online]. [cit. 2018-04-10]. Dostupné z: <http://www.suvicka.cz/wp-content/odv%C3%AD%C4%8Dkov%C3%A1n%C3%AD.jpg>
- IVCELARSTVI.CZ, *Druhy medometu* [obrázek] . [online]. [cit. 2018-04-10]. Dostupné z: [https://www.ivcelarstvi.cz/userdata/ivcelarstvi\\_2014/images/typy-medometu.jpg](https://www.ivcelarstvi.cz/userdata/ivcelarstvi_2014/images/typy-medometu.jpg)
- ENGINEER2YOU.BLOGSPOT.CZ, *Signál – směr otáčení* [obrázek] . [online]. [cit. 2018-04-10]. Dostupné z: <https://4.bp.blogspot.com/-Ay8jOhZ4918/WF3XLT23ofI/AAAAAAAAADAs/7TA3sfFzEmYzkrdPKn2f5ktbDsMd1SzXgCLcB/s1600/5.PNG>

CIRCUITDIGEST.COM, *Schéma klávesnice* [obrázek] . [online]. [cit. 2018-04-10]. Dostupné z: <https://circuitdigest.com/sites/default/files/inlineimages/4x4-matrix-keypad.gif>

WIKIMEDIA.ORG, *Motor* [obrázek] . [online]. [cit. 2018-04-10]. Dostupné z: <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/0/0f/Motor.png>

ITNETWORK.CZ, *Arduino a I2C sběrnice* [online]. [cit. 2018-04-10]. Dostupné z: <https://www.itnetwork.cz/hardware-pc/arduino/arduino-a-i2c-sbernice>